

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА

Князев М.И., Кабанова Ю.А.

Руководитель - к.т.н. Сенкевич К.С.

ФГБОУ ВПО «МАТИ- Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского», 121552, г. Москва, ул. Оршанская д.3
kniazevmk@bk.ru

Сплавы на основе TiNi (нитинол) относятся к классу функциональных материалов, чей комплекс физико-механических свойств является строго зависимым от химического и фазового состава. Поэтому получение изделий из нитинола с заданными характеристиками сверхупругости и эффекта запоминания формы возможно лишь при строгом контроле параметров структуры и химического состава обрабатываемых полуфабрикатов. Так, например технология сварки, в случае применения ее к сплавам на основе TiNi, является процессом, существенно воздействующим на комплекс физико-механических свойств полуфабрикатов, в том числе на характеристики сверхупругости и эффект запоминания формы.

Наши исследования показали, что для соединения сплавов на основе TiNi перспективным является способ диффузионной сварки, позволяющий получать соединения с высоким уровнем механических свойств и характеристик эффекта запоминания формы и сверхупругости и структурой в зоне соединения аналогичной основному материалу. Однако это осуществляется при достаточно высоких температурах (1000-1100°C) и длительном воздействии (в течение 1 часа). Влияние такого высокотемпературного воздействия на структуру и характеристики ЭЗФ и СУ сплавов на основе никелида титана практически не изучено.

Поэтому в настоящей работе поставлена задача изучить влияние высокотемпературной обработки в вакууме (в интервале температур от 700 до 1100 °C) на микроструктуру и функциональные свойства сплавов на основе TiNi. Так как температура диффузионной сварки находится выше температуры обратной перитектической реакции $TiNi + Ti_2Ni \rightarrow L + TiNi$ (по разным источникам протекающей в интервале от 984 до 1010°C), то особое внимание сфокусировано на исследовании возможного ухудшения функциональных свойств сплавов после высокотемпературного нагрева.

Исследования показывают, что причиной образования в структуре сплава интерметаллидной фазы Ti_2Ni является кислород, который способствует образованию соединения Ti_4Ni_2O . По этой причине в сплавах с большим содержанием кислорода формируется и большая объемная доля частиц Ti_2Ni (Ti_4Ni_2O). Увеличение объемной доли Ti_2Ni приводит к

обогащению матрицы сплава никелем и понижению температур мартенситного превращения.

На содержание кислорода в сплаве большое влияние оказывает метод получения слитка. Так сплав №1, полученный методом гарнисажной плавки с последующим вакуумно-дуговым переплавом, содержит кислорода 0,16 масс. %, что более чем в 10 раз превышает содержание кислорода в сплаве №2, полученного методом индукционной плавки. Поэтому объемная доля Ti_2Ni в сплаве №1 изменяется в пределах от 10,5 до 15,5 %. Сплав №2 содержит от 3,5 до 5,5 % объемной доли Ti_2Ni .

Отжиг образцов из сплавов на основе $TiNi$ в течение одного часа в интервале температур от 700 до 1100 °C приводит к изменению параметров их структуры, в частности, размера зерна В2-фазы и объемной доли Ti_2Ni . По характеру изменения размера зерна В2-фазы в результате термической обработки можно выделить две температурные области: низкотемпературную (ниже 900 °C) и высокотемпературную (выше 900 °C), в которых скорость роста зерна сильно различается.

На процессы преобразования структуры значительное влияние оказывает технология получения слитков. У образцов из сплава №1 при нагреве до 900 °C наблюдается небольшой рост зерна от 11 до 20 мкм, а в высокотемпературной области нагрева размер зерна увеличивается приблизительно в 4 раза по сравнению с исходным состоянием. Относительно небольшое изменение размера зерна при отжиге обусловлено высокой объемной долей частиц Ti_2Ni , которые являются эффективным препятствием для перемещения межзеренных границ.

У образцов из сплава №2 в низкотемпературной области наблюдается более сильное изменение размера зерна (от 8 мкм до 40 мкм), а при нагреве выше 900 °C происходит скачкообразный рост зерна до 140 мкм. Существенное различие в характере роста зерен в сплаве №2 по сравнению с сплавом №1 связано с меньшей объемной долей частиц Ti_2Ni и соответственно меньшим их влиянием на блокировку роста зерен. Влияние объемной доли частиц Ti_2Ni на кинетику роста зерна В2-фазы может быть одним из факторов влияющих на процесс твердофазного соединения сплавов на основе $TiNi$, что требует дальнейшего подробного изучения. Установлено, что в сплавах, подвергнутых термической обработке при температурах выше и ниже температуры предполагаемой перитектической реакции ($L+TiNi \leftrightarrow TiNi+Ti_2Ni$), объемная доля и размер частиц Ti_2Ni в интервале от 900 до 1100 °C существенно не изменилась.

Изменение параметров структуры исследуемых сплавов, особенно объемной доли частиц Ti_2Ni , должно оказывать влияние на их функциональные свойства. Поскольку для управления характеристиками эффекта запоминания формы сплавы на основе $TiNi$ подвергают старению, то часть образцов после отжига при 700 и 1100 °C были подвергнуты старению при температуре 500 °C в течении 1 часа.

Большее количество фазы Ti_2Ni в сплаве №1 приводит к тому, что после отжига при 700 °С и последующего старения температуры начала и конца восстановления формы образцов составили +14 и +17 °С, а для сплава №2 – +24 и +28 °С, соответственно. После отжига при 1100 °С у состаренных образцов из сплава №1 интервал температур восстановления формы практически не изменился и составил +15 ÷ +17 °С, а у образцов сплава №2 немного повысился до +26 ÷ +32 °С.

Как показали результаты испытаний на изгиб, в состаренном состоянии образцы из сплава №1 при нормальной температуре проявляют высокий комплекс сверхупругих свойств, а образцы из сплава №2 находятся в мартенситном состоянии и отличаются высокими характеристиками эффекта запоминания формы. У всех образцов, деформированных изгибом на 6 – 8 %, степень восстановления формы (равная отношению восстановленной деформации к наведенной) составляет 96 – 100 %. (Рис.1)

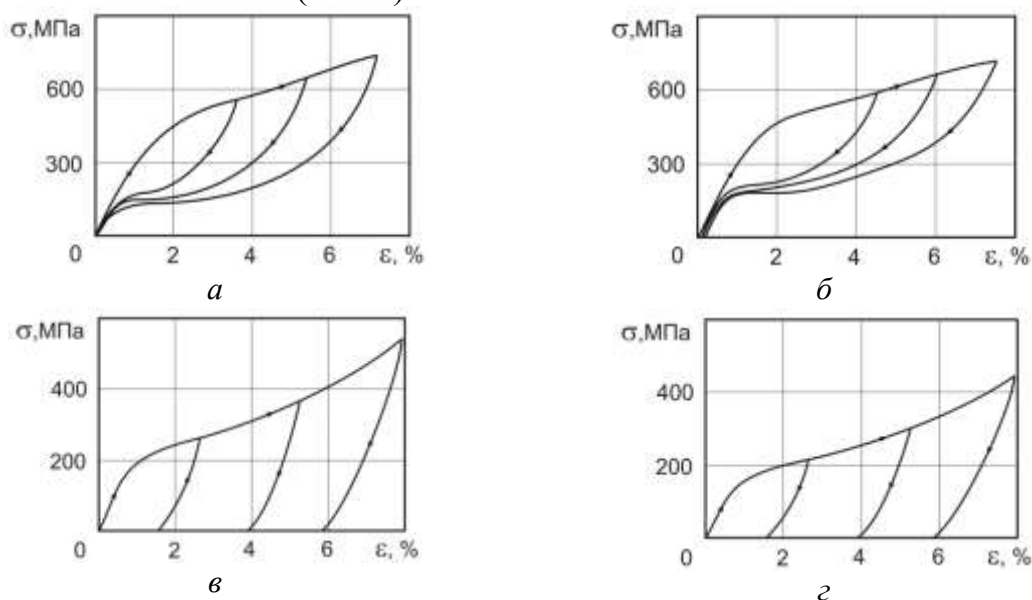


Рис. 1 Кривые напряжение – деформация при испытании на изгиб образцов из сплавов №1 (а и б) и №2 (в и г) после отжига 700 °С (а и в) и 1100 °С (б и г) и последующего старения при 500 °С (1 час).

Из вышесказанного можно сделать следующие заключения. Микроструктурные исследования показали, что при высокотемпературной обработке до 1100 °С, в сплавах на основе $TiNi$ происходит уменьшение объемной доли и размера частиц фазы Ti_2Ni и увеличение размера зерна В2-фазы. При этом в зависимости от исходного содержания объемной доли Ti_2Ni эти процессы могут происходить с различной интенсивностью. Установлено, что функциональные свойства образцов из сплавов на основе $TiNi$ подвергнутых высокотемпературной обработке до 1100 °С не ухудшаются и сплавы обладают высоким комплексом характеристик СУ и ЭЗФ.